

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN BLEIGEHALT IN
ZAHNSTEIN, ZAHNHARTGEWEBEN,
ALVEOLARKNOCHEN UND VENÖSEM BLUT

Norbert Emslander

1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

(Direktor: Prof. Dr. E. SONNABEND)

der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten

der Universität München

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN BLEIGEHALT IN ZAHNSTEIN,
ZAHNHARTGEWEBEN, ALVEOLARKNOCHEN UND VENÖSEM BLUT

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von

Norbert EMSLANDER

aus Landshut

1978

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität
München

Berichterstatter: Prof. Dr. E. SONNABEND

Mitberichterstatter: Prof. Dr. E. KRAFT

Dekan: Prof. Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 16.1.1979



Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. <u>EINLEITUNG</u>	1
2. <u>LITERATURÜBERSICHT</u>	3
2.1. Bleigehalt im Zahnstein	3
2.2. Bleigehalt in Zahnhartgeweben	5
2.3. Bleigehalt im Knochen	15
2.4. Bleigehalt im Blut	19
2.4.1. Normal-zivilisatorischer Blei- gehalt im Blut	21
2.4.2. Blutbleigehalt bei beruflich Bleiexponierten	22
3. <u>METHODIK</u>	24
3.1. Kollektivbeschreibung	24
3.1.1. Kollektiv der "normal-zivilisa- torisch" Bleibelasteten (n=21)	24
3.1.2. Beruflich Bleiexponierte (n=5)	25
3.2. Probenahme	
3.3. Bleibestimmung mittels Atom- Absorptions-Spektralanalyse	27
3.3.1. Vorbereitung der Proben	28
3.3.2. Chemische Analysenschritte	29
3.3.2.1. Chemische Analysenschritte zur Aufarbeitung der Proben von Zahn- stein, Zahnhartgeweben und Knochen	29
3.3.2.2. Chemische Analysenschritte zur Aufarbeitung der Blutproben	30

	<u>Seite</u>
3.3.3. Eichlösungen für die flammenlose Atomabsorption im Graphitrohr	31
3.3.4. Messung des Bleigehaltes der einzelnen Probenlösung im Atom-Absorptions-Spektralphotometer	32
4. <u>ERGEBNISSE</u>	33
4.1. Normalkollektiv	33
4.1.1. Meßwerte	33
4.1.2. Normalverteilung nach NALIMOV-Ausreißertestung und deren Überprüfung mittels des χ^2 -Testes	36
4.1.3. Mittelwerte des Bleigehaltes und ihre Standardabweichungen	40
4.1.4. Zusammenstellung der Werte mit Hilfe des Differenzen-t-Testes	41
4.2. Meßwerte der beruflich Bleiexponierten	42
5. <u>KRITISCHE AUSWERTUNG</u>	43
5.1. Literaturvergleich der "normal-zivilisatorischen" Bleigehalte	43
5.2. Verhalten der Parameter bei beruflicher Bleibelastung	46
5.3. Vergleich des Bleispeicherverhaltens der untersuchten Parameter	48
6. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	53
7. <u>SCHRIFTTUM</u>	55

1. EINLEITUNG

Stetig ansteigende Bleiproduktions- und Verbrauchszahlen und vor allem der Bleitetraäthylzusatz im Benzin brachten eine zunehmende Freisetzung von Blei und Bleiverbindungen in die Umwelt mit sich, führten zur Umweltverschmutzung durch Blei und somit auch zu einer verstärkten Bleikontamination der Bevölkerung.

Diese Bleibelastung des Menschen reflektieren die "normal-zivilisatorischen" Bleigehalte der verschiedenen Gewebe im menschlichen Organismus:

Als Maß für die aktuelle Bleiexposition wird häufig der Bleigehalt im B l u t bestimmt. Er zeigt eine Momentaufnahme im Fließgleichgewicht zwischen enteraler und pulmonaler Bleioresorption, Ablagerung in und Mobilisierung aus den Gewebespeichern und der Bleiauscheidung via Urin und Faeces.

Aufgrund seiner spezifischen Affinität zum K n o - c h e n g e w e b e häuft sich Blei dort im Körper an. Diese Bleiakкумуляtion im Skelett ist einer direkten quantitativen Bestimmung jedoch nur schwer zugänglich. Eine einfache Möglichkeit für eine Knochenbiopsie eröffnet sich aber nach einer Zahnextraktion.

Das Z a h n h a r t g e w e b e speichert ebenfalls sehr gut Blei. Der Bleigehalt in Milchzähnen dient beispielsweise als wertvolles Diagnostikum frühkindlicher Bleibelastung.

Ein normal-zivilisatorischer Bleigehalt im Z a h n - s t e i n wurde erst in jüngster Zeit bestimmt.

Aufgabe dieser Arbeit ist es,

- a) eine Literaturübersicht über den Bleigehalt in Zahnstein, Zahnhartgeweben, Knochen und Blut zu geben;
- b) anhand eigener Untersuchungen den "normal-zivilisatorischen" Bleigehalt in Zahnstein, Zahnkrone, Zahnwurzel, Alveolarknochen und Venenblut p a r a l l e l zu bestimmen; diese Parallelbestimmung wird zusätzlich bei Proben beruflich Bleibelasteter durchgeführt.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Bleigehalt im Zahnstein

In der Literatur finden sich nur sporadisch Angaben über Zahnsteinuntersuchungen auf Blei.

HINTZE (1912) überprüft im Hinblick auf die schweren Gingivitiden der Bleiarbeiter einer Akkumulatorenfabrik, der Reichlichkeit des Zahnsteines an ihren Zähnen und vor allem aufgrund der Annahme, daß Zahnstein als poröser Körper leicht zur Aufsaugung der Bleisalze dienen könnte, Zahnstein auf Blei. Er ermittelt im zusammengenommenen Zahnstein von 55 Bleiarbeitern einen Bleigehalt von 835 ppm. Bei einem 44-jährigen Bleiarbeiter - dieser stand seit 12 Jahren mit dem Metall in Berührung und war schwer bleikrank - ergibt die chemische Analyse 4 800 ppm Blei im Zahnstein. Dem stark bleihaltigen Zahnstein mißt HINTZE eine "gesundheitswidrige Bedeutung als Giftherd" bei.

Auch MINKER (1928) kann in 2 Fällen bei Bleiarbeitern das Metall im Zahnstein "mit vollkommener Sicherheit" nachweisen. Er vermutet aber, daß nicht das im Zahnstein enthaltene Blei die Entstehung des Bleisaumes fördert, sondern die unausgesetzte Reizung der Schleimhaut durch den Zahnstein in dieser die günstigen Bedingungen zur Bleiaufnahme aus dem Blut schafft.

Zahnstein von 6 Arbeitern mit chronischer Bleivergiftung untersucht SCHENKEL (1929). Alle 6 Analysen ergeben keinen Bleigehalt. Der Autor will dies aber nicht als Beweis gelten lassen, daß im Zahnstein keine Blei-

ablagerungen vor sich gehen, da geringe Mengen von Bleisulfid und Bleisulfat aufgelöst werden können; vielleicht ist der Bleigehalt so gering, daß keine Ausfällung stattfinden kann.

Die "Untersuchung über den Bleigehalt im Zahnstein und Speichel bei Arbeitern des Bleigewerbes" von SCHMIDT (1933) erbringt ebenfalls ein negatives Resultat. Er kann im Speichel von 50 Arbeitern - die als bleikrank verdächtig gelten - und in 50 Zahnsteinproben (Einzeluntersuchungen von ca. 50 mg Zahnstein) kein Blei nachweisen. Es gelingt ihm also nicht, irgendwelche Beziehungen zwischen Bleivergiftungssymptomen und Bleigehalt im Zahnstein festzustellen und folgert daher, daß der Bleigehalt im Zahnstein als Diagnostikum für Bleivergiftungen nicht verwertbar sei.

PFRIEME (1934) untersucht im Rahmen seiner Dissertation "Über den normalen und pathologischen Bleigehalt der Zähne von Menschen und Tieren" auch Zahnstein (3 000 mg), und zwar von "bleifremden", d.h. nur zivilisatorisch belasteten Personen. Er findet überhaupt keinen Bleigehalt.

Mittels chemischer Analysen waren also - wenn überhaupt - nur exzessiv hohe Bleigehalte im Zahnstein belasteter Bleiarbeiter nachzuweisen.

SONNABEND, SANSONI, HERZOG und KRACKE (1976) bzw. HERZOG (1977) bestimmen den Bleigehalt im Zahnstein bei verschiedenen Berufsgruppen mit der Atomabsorptions-spektralanalyse. Sie ermitteln einen normalen - also zivilisatorisch bedingten - mittleren Bleigehalt im Zahnstein von $5,58 \pm 6,23$ ppm, und zum Teil wesentlich höhere Mittelwerte für beruflich Bleiexponierte:

Verkehrspolizisten	$(10,98 \pm 10,30 \text{ ppm})$
Arbeiter einer Akkumulatorenfabrik	$(14,01 \pm 9,21 \text{ ppm})$
Arbeiter einer chemischen Fabrik	$(45,34 \pm 34,99 \text{ ppm})$
Arbeiter im Autobau	$(52,87 \pm 50,75 \text{ ppm})$

2.2. Bleigehalt in Zahnhartgeweben

Hat man zuerst Blei in Zähnen nur von chronisch Blei-vergifteten durch chemische Analysen nachweisen können - CAROW (1910), HINTZE (1912) - so bestimmt PFRIEME (1934) auch einen "normalen" Bleigehalt in Zähnen beruflich nicht Bleiexponierter und zeigt dessen Anstieg mit dem Lebensalter auf. Der Schmelz enthält nur $1/3$ des Dentinbleigehaltes. Eine Differenzierung in Bezug auf Geschlecht und Ansässigkeit (Stadt - Land) ist nicht möglich. Mehrfaches an Blei findet sich in Zähnen beruflich Bleibelasteter. Da er im Zahnstein überhaupt kein Blei nachweisen kann und im Schmelz wesentlich weniger als im Dentin, folgert er, daß das Blei auf dem Blutwege zu den Zähnen gelangt. Tierexperimentiell bestätigt sich eine Abhängigkeit des Bleigehaltes der Zähne von der Menge des zugeführten Bleies und der Dauer der Darreichung.

Exakte Erkenntnisse über die Lokalisation des Bleies im menschlichen Zahn gewinnen auf histochemischem Wege TIMM (1936, Sulfid-Dunkelfeld-Methode) und OHM (1964, Sulfid-Silber-Verfahren). Sie beschreiben eine enge Beziehung der Bleiablagerung zu den vorwiegend organische Substanzen enthaltende Bereiche von Dentin und Zement - Ausdruck der direkten Abhängigkeit vom Stoffwechsel. So finden sie Blei vorzugsweise in den Odontoblasten, Dentinkanälchen, Sekundärdentinschichten und Interglobularräumen sowie im Zement. Diese Befunde bestätigen auch die Nachfolgearbeiten (alle mittels Sulfid-Silber-Verfahren) aus dem histochemischen Laboratorium (Leiter: Professor Dr.Dr.F.TIMM) des Max-Planck-Instituts für experimentelle Medizin zu Göttingen von ZENTAY (1968), BETHKE (1968), HENNINGS (1969), BUNTE (1969), BARDOS (1970) und GÖDRÖS (1970).

ZENTAY (1968) beschreibt die Bleispeicherung bei der Zahnentwicklung an Hand histochemischer Schnitte von Unterkiefern junger Ratten. Im Neugeborenen ist weder im Schmelzepithel noch in den Odontoblasten Blei nachweisbar. Mit fortschreitendem Lebensalter treten Bleiablagerungen im Schmelzepithel, Schmelz, Dentin, Odontoblasten, Pulpa, Halteapparat sowie im Zement auf.

BETHKE (1968) untersucht histochemisch Weisheitszähne vor dem Durchbruch und findet nur spärliche Bleiablagerungen vor. Milchzähne enthalten im Vergleich zu bleibenden Zähnen weniger Blei.

HENNINGS (1969) widmet sich kariösen und amalgamgefüllten menschlichen Zähnen. Er findet (wie bereits OHM 1964) im Bereich kariöser Entkalkung Verteilungsänderungen der Bleiablagerung vor: unter der Karies einen kegelförmigen Bezirk ohne Blei im Dentin, an der pulpennahen Kegelspitze und besonders in der Reizdentinschicht Blei gehäuft. Unter Amalgamfüllungen zeigen sich aus der Füllung gelöste Bestandteile entlang den darunter liegenden Dentinkanälchen. Zusätzlich findet er Störungen und Verlust der normalen Bleiablagerung im Zement eines Zahnes, dessen Halteapparat durch eine Parodontitis marginalis chronica profunda stark geschädigt war (Lösung des Bleis durch entzündliches Exsudat?).

BUNTE (1969) studiert die Bleiablagerung im Zahnhalteapparat bei normal und experimentell belasteten jungen Ratten. Zunehmend mit der Applikationsdauer speichern Zement (in Appositionszonen und Zementocyten), Fibrocyten des Periodonts (besonders in Zement- und Knochennähe), Osteoblasten und ganz besonders Osteoklasten vermehrt Blei. Bei einer Blei-Intoxikation ist die vorherrschende Reaktion im Knochen Osteoklasie mit Schotterknochenbildung und Knochendestruktion bis zum Alveolarfach. Daneben ist die Osteoplasie gesteigert, sodaß - mit allen Übergängen - gelegentlich eine Osteosklerose resultiert.

Schließlich berichten BARDOS (1970) und GÖDRÖS (1970), daß die Zähne der Stadtbevölkerung wesentlich mehr Blei als die der Landbevölkerung enthalten; GÖDRÖS weist zusätzlich noch auf einen mit dem Lebensalter ansteigenden Bleigehalt im Dentin hin.

Auf gänzlich anderem Wege - es wird die Verteilung von Blei in longitudinal durchtrennten Milchzähnen (mittels Diamantscheibe) mit einem elektronischen Mikroanalysator untersucht - kommen CARROLL, NEEDLEMAN, TUNCAY und SHAPIRO (1972) zum selben, zusätzlich noch auf den Schmelz ausgedehnten Befund: Blei ist entweder in oder am Rande von hypomineralisierten Zonen in Schmelz, Dentin, Wurzelentin und Sekundärdentin abgelagert. Im Widerspruch zu BRUDEVOLD und STEADMAN (1956) können sie in den oberflächlichsten Schmelzschichten kein Blei vorfinden.

Für die Einlagerung des Bleis in den Zahn formulieren sie drei Speicherphasen: eine erste Bleiaufnahme während der Matrixbildung und Mineralisierung der Krone, dann in der Durchbruchphase bei der Wurzelbildung und später die Bleispeicherung bei der Sekundärdentinbildung.

Mit der Verteilung von Blei im Schmelz durchgebrochener und nicht durchgebrochener Zähne befassen sich BRUDEVOLD und STEADMAN (1956): Den größten, altersabhängigen Bleigehalt (200 bis 500 ppm) weist die äußerste (= Oberflächen-) Schmelzschicht auf; dieser fällt in den folgenden Schichten exponentiell auf einen konstanten Wert im Schmelzhauptanteil um 30 ppm bei jüngeren und um 90 ppm bei Personen über 50 Jahre ab. Für den Bleigehalt im oberflächlichsten Schmelz gilt im Vergleich: größer bei noch nicht durchgebrochenen, aber bereits voll ausgebildeten Zähnen gegenüber nicht durchgebrochenen, nicht voll ausgebildeten Zähnen; größer bei durchgebrochenen gegenüber nicht durchgebrochenen Zähnen.

Da Fluor im Schmelz das gleiche Verteilungsmuster zeigt, vermuten BRUDEVOLD und STEADMAN, daß die Bleianreicherung im Oberflächenschmelz analog der Fluoranreicherung erfolgt.

(Methodik: Es wird der Bleigehalt im Schleifstaub verschieden tiefer Schmelzschichten spektrographisch bestimmt.)

Spurenelement-Untersuchungen von LITTLE und STEADMAN (1966) im Zahnschmelz ergeben für den äußeren diffus verfärbten Schmelz einen zwei- bis dreifach höheren Bleigehalt gegenüber völlig gesundem Schmelz; prae-kariöse weiße und braune Flecken zeigen variablen, doch erhöhten Bleigehalt.

(Methodik: Schleifstaubproben verschiedener Schichttiefe, spektrographischer Nachweis.)

LOSEE, CURZON und LITTLE (1974) bestimmen den Gehalt von 21 Elementen im gesunden Schmelz und finden für Blei einen Mittelwert von $19,2 \pm 10,73$ ppm.

(Methodik: 93 Schmelzproben, jeweils vom bukkalen Höcker erster Prämolaren von Patienten unter 20 Jahren; Atomabsorptionsspektroskopie bzw. Emissionsspektroskopie.)

1975 beschreiben BRUDEVOLD, REDA, AASENDEN und BAKHOS eine sehr elegante Biopsietechnik zur Spurenelementbestimmung im Oberflächenschmelz menschlicher Zähne: Säureätzung auf einer Schmelzoberfläche von 20 mm^2 mit 10 ml 1,6 normaler Salzsäure in 70%igem Glycerol

35 sec lang direkt im Mund des Patienten. Sie erzielen Biopsieschichttiefen zwischen 2 - 4 μ m.

35 Probenahmen bei Kindern zwischen 9 bis 15 Jahren ergeben für obere mittlere Schneidezähne den erstaunlich hohen Mittelwert von 1790 ± 960 ppm Blei.

(Bleibestimmung durch flammenlose Atomabsorptionsspektrographie.)

ALTSHULLER, HALAK, LANDING und KEHOE (1962) sehen in den Milchzähnen einen Indikator für die Bleibelastung des gesamten Körpers. Für den normalen Bleigehalt in 82 Milchzähnen von Kindern im Alter zwischen 2,5 bis 12 Jahren ermitteln sie spektrographisch 15,1 ppm Blei in der gesunden Zahnschubstanz. Sie stellen eine lineare Zunahme des Bleigehaltes in den Milchzähnen nach dem Durchbruch von 2,2 ppm ($s = 1,28$) Blei pro Jahr fest. Eine Überprüfung des Bleigehaltes ausgefallener Milchzähne von Kindern, welche eine Bleivergiftung in ihren ersten Lebensjahren überlebten, ergibt signifikant höhere Werte; es scheint aber ein gewisser Bleiverlust in den Zähnen der Kinder im Laufe der Zeit nach der akuten Bleibelastung aufzutreten. Milchzähne von Kindern, die an einer akuten Blei-Encephalopathie verstarben, weisen Bleigehalte zwischen 58 ppm und 85 ppm auf.

(Methodik: kariöse Stellen werden entfernt; der ganze Zahn in Salpetersäurelösung aufgelöst; spektrographischer Bleinachweis.)

STREHLOW und KNEIP (1969) unterstreichen den höheren Bleigehalt der Zähne gegenüber Knochen und dessen Anstieg mit dem Lebensalter. Bezüglich Blei können Zähne ein Indikator für eine Bleibelastung sein, aber sie müssen nicht notwendigerweise den allgemeinen Bleigehalt im Knochen widerspiegeln.

SHAPIRO, NEEDLEMAN und TUNCAY (1972) teilen den Bleigehalt von Oberflächenschmelz, Schmelz, Kronendentin, Wurzeldentin und Sekundärdentin von bleibenden (und Milch-) Zähnen mit. Die sehr hohen Bleiwerte der pulpenächsten Sekundärdentinschicht (226 bis 982 ppm) und deren sukzessiver Abfall zum Dentin hin spiegelt die Bleiaufnahme nach dem Zahndurchbruch wider.

Das Blei in der Schmelz- und Dentinhauptmasse sehen sie als Indikator für die Bleibelastung während der Kalzifizierungszeit. An der Schmelzoberfläche führt möglicherweise ein Ionenaustausch zwischen Schmelz, Plaque und dem Mundmilieu zu den erhöhten Werten.

(Methodik: Mittels Handstück Proben von 30 bis 100 mg in den einzelnen Zonen des Zahnes entnommen und polarographisch bestimmt; circumpulpales Wurzeldentin wird mit Kanalinstrumenten dreier verschiedener Größen gewonnen.)

NEEDLEMAN, TUNCAY und SHAPIRO (1972) berichten über den erhöhten Bleigehalt in den Milchzähnen bei amerikanischen Kindern aus Stadtteilen mit bekannten Bleifarbenproblemen. Daß kein Stadtkind Bleiwerte unter 2 ppm im Zahn gegenüber Kindern aus Vororten hat, schreiben sie dem Unterschied in der atmosphärischen Bleibelastung zu.

1973 beschreiben SHAPIRO, DOBKIN, TUNCAY und NEEDLEMAN eine neue Methode zur definierten Probenahme von circumpulpaalem Dentin: Der in Acrylat eingebettete Zahn wird mit einem Diamantscheibenpaar longitudinal durchtrennt. Von der erzielten 600 Mikrometer dünnen Zahnscheibe werden unter dem Mikroskop 300 Mikrometer des pulpennahen Dentins eingeklemmt (parallel zum Pulpen-cavum) und abgebrochen.

Im Vergleich von Milchzähnen bleivergifteter und normalbelasteter amerikanischer Kinder stellt sich eine siebenfache Differenz des mittleren Bleigehaltes im circumpulpaalen Dentin heraus. Parallel dazu werden auch Milchzähne isländischer Kinder untersucht und noch $2/3$ geringere Bleigehalte im Dentin festgestellt.

Ganzzahn-Analysen ergeben keine so großen Unterschiede und sind daher ein nicht so empfindlicher Gradmesser einer Bleispeicherung unter niederer oder hoher Bleibelastung.

Mittels dieser Methode stellen NEEDLEMAN, DAVIDSON, SEWELL und SHAPIRO (1974) eine subklinische Bleibelastung von Schulkindern in Philadelphia fest.

1974 bestimmen LANGMYR, SUNDLI und JONSEN Blei und Cadmium atomabsorptionsspektrographisch in der Zahnschubstanz mittels direkter Atomisierung des Pulvers und Hydroxylapatit als Standardfestwert. Sie können keine Korrelation zwischen dem Bleigehalt und Cadmiumgehalt im Zahn finden.

STREHLOW (1974) demonstriert in einer Versuchsserie mit 8 Pavianjungen anhand zeitlich gestaffelter Extraktionen von Milchzähnen nach einer einmaligen hohen Bleibelastung: Der Bleigehalt im Zahn nach einer Bleiexposition wird nicht abgebaut; bei der Wurzelresorption verlieren die Milchzähne nur das Blei in der Wurzel. Bei voll ausgeformten Milchzähnen zeigen die Wurzeln eine höhere Aufnahme als die Kronen. Chelation mit Dimercaprol und Calziumedetat-Natrium ein Jahr nach der Bleidosis mobilisiert kein Blei aus Zähnen.

Auch STEWART (1974) sieht in den Milchzähnen Indikatoren für die Bleibelastung von Kindern. Er stellt die lineare Zunahme des Bleigehaltes in Milchzähnen mit dem Alter dar und die unterschiedliche Bleibelastung der Kinder in der Stadt, in den Vororten und auf dem Lande (in der Stadt erhöhter Bleigehalt in der Atemluft und im Staub).

HABERCAM, KEIL, REIGART und CROFT (1974) untersuchen den Bleigehalt in Blut, Haar und Milchzähnen bei 18 prae-adoleszenten Negerkindern und korrelieren ihn mit Umweltfaktoren und Wachstum. Sie finden eine gute Korrelation zwischen dem Bleigehalt im Blut und jenem im Zahn (0,836, signifikant auf dem 0,01 Niveau).

RYTÖMAA und TUOMPO (1974) vergleichen den Bleigehalt in Milchzähnen finnischer Kinder, die entweder in der Stadt (Helsinki) oder auf dem Land (Kerfola) leben.

Schmelz und Dentin zeigen höhere Werte bei den Stadtkindern. Die im Schmelz gegenüber dem Dentin wesentlich höheren Bleiwerte werden auf Austauschreaktionen nach dem Zahndurchbruch zurückgeführt.

(Methodik: Die Auftrennung in Schmelz und Dentin erfolgt mit der Schwebemethode, Blei wird atomabsorptionsspektrographisch bestimmt.)

LOCKERETZ (1975) untersucht den Bleigehalt in den Milchzähnen von Kindern in verschiedener Umgebung, um den relativen Anteil verschiedener Bleiquellen zu ermitteln. Die umfangreiche statistische Auswertung unterstreicht die Bedeutung von Bleifarben für Kinder, die in verfallenen Häusern wohnen. Keinen Einfluß zeigen Verkehrsdichte und Industrie-Emissionen. Im Milchgebiß weisen die Frontzähne höhere Bleigehalte als die Molaren auf. Die Bleigehalte gleichartiger Milchzähne aus derselben Wohngegend sind logarithmisch normal verteilt.

CHATMAN und WILSON (1975) analysieren den Bleigehalt in Milchzähnen atomabsorptionsspektrographisch, um das Ausmaß der Bleibelastung in verschiedenen Gebieten von Tennessee zu ermitteln: Alter, Geschlecht und Zahnform haben nur wenig Einfluß auf den Bleigehalt, als Hauptfaktoren zeigen sich der ökonomische Status und indirekt der Wohnort.

DE LA BURDE und SHAPIRO (1975) unterstreichen wieder die Bedeutung einer Bleigehaltsbestimmung im Milchzahn für den Nachweis zurückliegender Bleibelastung. Kinder,

welche mit 1 bis 3 Jahren einer höheren Bleibelastung ausgesetzt waren, weisen in ihren Milchzähnen im Alter von 8 Jahren gegenüber normal belasteten Kindern einen höheren Bleigehalt auf. Der Blutbleigehalt dagegen zeigt keine Unterschiede mehr.

2.3. Bleigehalt im Knochen

In den Vereinigten Staaten beziffert BARRY (1975) die mittlere Gesamtkörperbleilast beruflich nicht bleiexponierter Männer auf 164 mg Blei, bei Frauen auf 103 mg. Über 90 % dieser Gesamtbleimenge sind dabei im Knochen gespeichert; davon wiederum über 70 % in den kompakten Knochen.

Zusätzlich beruflich bleibelastete Männer zeigen einen Mittelwert von 566 mg Blei im Körper mit einem Bleianteil im Skelett von 97 %.

SCHROEDER und TIPTON (1968) geben für die durchschnittliche Gesamtbleimenge im Körper 120 mg Blei an (bezogen auf einen 70 kg schweren Erwachsenen) und 91 % für den Speicheranteil in den Knochen.

Blei ist bereits im Neugeborenen-Skelett nachweisbar (BARTH 1931, SCHROEDER und TIPTON 1968).

Nach BARRY (1975) steigt die Bleikonzentration im Knochen mit dem Lebensalter an. Dies beschreiben auch BARTH (1931), WEINIG und BÖRNER (1961) und GRANDJEAN (1975).

SCHROEDER und TIPTON (1968) ermitteln bei 30- bis 40-Jährigen die höchste Bleikonzentration im Knochen, dann wieder eine Abnahme. Bei akuter Bleiexposition erfolgt die Bleispeicherung im Knochen, vor allem subepiphysär und subperiostal, also in den physiologischen Wachstumszonen (BEHRENS und BAUMANN 1933, autoradiographischer Nachweis mit Blei-210).

Bei normaler (= niedrige chronische) Bleibelastung herrscht im Knochen gleichmäßigere Bleiablagerung vor (TIMM 1936, histochemisch mittels Sulfid-Dunkelfeld-Methode): keine ausgesprochene subperiostale Bleispeicherung, abwechselnd und verschieden dicht in den Haversschen Systemen (regellos in der Grundsubstanz, in den Knochenhöhlen, nahe den Kittlinien, in den Schaltlamellen).

Diese Gleichverteilung unter normaler Bleibelastung bestätigen auch WEINIG und BÖRNER (1961): polarographische Bleibestimmungen ergeben für den normalen Bleigehalt in der Kompakta- und Spongiosa-Asche keine wesentlichen Unterschiede. Auf die völlig anderen Verteilungsverhältnisse bei akuter und subakuter Bleivergiftung wird hingewiesen.

MARUNA und STIPINOVIC (1974) berichten über eine achtmal höhere Bleikonzentration in der Knochenasche nekrotischer Femurköpfe gegenüber nicht nekrotischen.

RIVERA (1965) leitet für den Stoffwechsel im ganzen Skelett eine turnover-Rate von 3,5 % pro Jahr ab; Wirbeln weisen dabei eine Umbaurate von 8 % pro Jahr auf, Femurknochen aber nur 1,5 % pro Jahr.

Schon GUSSEROW - der 1861 die Speicherung des Bleis im Skelettsystem als erster feststellt - formuliert die Hypothese einer Doppelsalzbildung aus Phosphat, Blei und Calcium; er weist auch auf eine mögliche Analogie zwischen dem Calcium und Bleistoffwechsel hin.

BEHRENS und BAUMANN (1933) zeigen auf, daß Blei im Knochen immer dort abgelagert wird, wo mobilisierbare Calciumdepots angenommen werden. Sie vermuten, daß dieser Parallelismus auf chemisch ähnlichem Verhalten des Calciums und des Bleis gegenüber gewissen Phosphaten zurückzuführen ist.

WEINIG und BÖRNER (1961) tragen zahlreiche Forschungsergebnisse über den normalen Bleigehalt im Knochen tabellarisch zusammen. Es zeigen sich Differenzen im Bleigehalt verschiedener Knochen und auffallende Diskrepanzen zwischen den einzelnen Autoren. Verschieden präzise Bleibestimmungsmethoden und ein unterschiedlicher Bezug der analytischen Daten auf Frischgewicht, Trockengewicht oder Asche einerseits und die Schwankungsbreite in der normalen Bleibelastung andererseits kommen zum Ausdruck. Eine Umrechnung der analytischen Daten wird zur Vermeidung von Fehlern nicht vorgenommen, da die Quotienten zwischen Frischgewicht, Trockengewicht und Asche mit Alter, Konstitution, Geschlecht, Gesundheitszustand und Art des Menschen sich erheblich ändern können.

Über neuere Angaben des mittleren Bleigehaltes in der Knochenasche gibt GRANDJEAN (1975) einen Überblick. Er selbst bestimmt den Bleigehalt in Wirbelknochen ver-

storbener Dänen (n = 126), die beruflich nicht bleiexponiert waren, und bezieht seine analytischen Ergebnisse auf das Knochentrockengewicht: Für die Altersgruppe 0 bis 24 Jahre ermittelt er 0,8 ppm (0,5 - 1,1), für die Altersgruppe 25 bis 54 Jahre 1,2 ppm (1,0 - 1,7) und für über 50-Jährige 1,6 ppm (1,3 - 2,1).

WESTERMAN, PFITZER, ELLIS und JENSEN (1965) bestimmen Blei in Knochenbiopsieproben von der Spina iliaca posterior superior. Die Biopsieproben von ungefähr 120 mg Frischgewicht enthalten ca. 25 % Knochen und 75 % Knochenmark (= Dichte der normalen Spongiosa). Normal Belastete haben Werte unter 40 ppm. Es findet sich im allgemeinen eine Wechselbeziehung zwischen dem Bleigehalt im Knochen und im Blut, jedoch auch Ausnahmen: Einige bleiexponierte Arbeiter weisen bei fast normaler Bleikonzentration im Blut erhöhten Bleigehalt im Knochen auf. Dies unterstreicht und verdeutlicht den Wert der Knochenbiopsie bei der Beurteilung der Bleibelastung.

GOSSMANN und HEILENZ (1967) gewinnen ebenfalls durch Knochenbiopsie vom Beckenkamm Material für eine quantitativ chemische Bestimmung des Bleigehaltes menschlicher Knochen. Bei 4 nicht bleiexponierten Personen finden sie Konzentrationen von 4 bis 12,5 ppm in der Knochenasche. Patienten mit zurückliegender Bleibelastung zeigen 35 bzw. 55 ppm, mit akuter Bleiexposition 96 ppm. Ein Patient mit klinisch manifester Bleivergiftung hat 200 ppm in der Knochenasche. Bleigehaltsangaben, bezogen auf frische Knochensubstanz, erachten sie für die Knochenbiopsie vom Beckenkamm

als ungeeignet, da der Knochengehalt des Biopsiezylinders je nach Spongiosadichte und Mineralisationsgrad schwankt.

Nach STREHLOW und KNEIP (1969) zeigt die statistische Auswertung von Bleianalysen innerhalb eines Knochens und verschiedener Knochen eines Skeletts keine signifikanten Unterschiede gegenüber dem durchschnittlichen Bleigehalt im Skelett, sofern der Bleigehalt des Knochens in μg Blei/g Knochenasche angegeben wird. Das Wissen um diese Normalverteilung gestattet eine Abschätzung der gesamten Depotbleimenge im Skelett aufgrund einer einzigen Knochenprobe.

2.4. Bleigehalt im Blut

RABINOWITZ, WETHERILL und KOPPLE (1976) entwerfen aufgrund kinetischer Analysen des Fließgleichgewichtes für den Bleistoffwechsel im gesunden Organismus ein Dreikompartimentenmodell. Blut repräsentiert dabei das erste Kompartiment - es ist jedoch 1,5 bis 2,2 mal größer als das Blutvolumen selbst - und enthält schätzungsweise 1,7 bis 2,0 mg Blei, mit einer durchschnittlichen Verweildauer von 35 Tagen. Das Blutblei steht in direkter Verbindung mit dem durch Inhalation und Ingestion resorbierten Blei, dem Blei im Urin, und zeigt konstante Transferkoeffizienten zu den Kompartimenten zwei und drei.

Das zweite Kompartiment besteht hauptsächlich aus Weichgeweben, enthält 0,3 bis 0,9 mg Blei und zeigt eine Verweildauer von 40 Tagen. Es ist die Ursache

für das Blei in Harn, Nägeln, Schweiß, Speichel und Magen-Pankreas- und Gallensekret.

Die weitaus größte Bleimenge im Körper enthält das dritte Kompartiment, das Skelett, mit einer sehr langen Verweildauer.

Diese Schlüsselstellung des Blutbleis für den gesamten Bleistoffwechsel verdeutlicht auch LEHNERT (1968) in seiner Habilitationsschrift "Der Blutbleispiegel und seine Bedeutung für die Pathogenese und Prävention der beruflich bedingten Bleivergiftung", eine erschöpfende Darstellung der bis dahin bedeutsamen Veröffentlichungen über den Blutbleispiegel und deren Zusammenschau.

Das klinische Bild einer Blei (II-) Intoxikation verknüpft LEHNERT mit einer zeitlichen Zunahme des Blutbleistromes. Er hält daher bei der arbeitsmedizinischen Überwachung beruflich Bleigefährdeter die laufende Kontrolle des Blutbleispiegels als das wichtigste frühdiagnostische Mittel zur Erkennung eines Bleischadens.

"Das im Blut vorhandene Blei ist vor allem in den Erythrozyten gebunden; der Bleigehalt des Blutplasmas ist 16 mal geringer. Versuche mit Chelatbildner (BAL und EDTA) weisen darauf hin, daß die Bindung an den Erythrocyten wahrscheinlich nicht an der Oberfläche erfolgt, sondern im Stroma oder an Proteinfractionen des Zellplasmas. Blutplasmablei ist hauptsächlich proteingebunden und nur schwer dialysabel. Die Art der Bildung ist nicht bekannt."

(Zitiert aus "Berichte 3/76 Luftqualitätskriterien für Blei" des UMWELTBUNDESAMTES)

2.4.1. Normal-zivilisatorischer Bleigehalt im Blut

1967 erstellen GOLDWATER und HOOVER eine internationale Vergleichsstudie über den "normalen Bleigehalt im Blut und Urin". Sämtliche Blutproben aus 16 Ländern werden in einem Labor mittels des Dithiozonverfahrens bestimmt. Man findet einen "internationalen" Mittelwert von $17 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml Blut ($s = 11$) und erachtet als normalen Bereich $15 \mu\text{g}$ bis $40 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml.

Im allgemeinen zeigen die Blutbleispiegel von Städtern etwas höhere Werte als jene der Landbevölkerung. Zwischen Männern und Frauen finden sich keine signifikanten Unterschiede.

Atomabsorptionsspektrometrische Blutbleianalysen von LEHNERT (1968) bei 400 beruflich nicht bleibelasteten Erwachsenen ergeben $14,9 \pm 4,8 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml Vollblut. Dabei ist der Blutbleispiegel bei Männern ($13,8 \pm 4,6 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml) höher als bei Frauen ($12,5 \pm 4,4 \mu\text{g}$ pro 100 ml).

Ein gegenüber der Landbevölkerung höherer Blutbleiwert der Großstadtbevölkerung kann auf dem 1 %- Niveau statistisch gesichert werden. Ohne Rückwirkung ist jedoch das Zigarettenrauchen. Ebenso zeigt beim Erwachsenen das Lebensalter keinen Einfluß auf die Höhe des Blutbleistromes.

SANSONI, KRACKE, DIETL und FISCHER (1972) ermitteln für den Bleigehalt im Vollblut bei 75 normal Belasteten $12,3 \pm 0,4 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml; signifikant

niedrigere Werte der Frauen mit $11,1 \pm 0,6$ gegenüber der 40 Männer mit $13,6 \pm 0,6 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml.

MACHATA (1973) bestimmt zur Kontrolle der Umweltverschmutzung bzw. zur Kontrolle der Auswirkung auf den Menschen Blutbleiwerte aus einem ausgewählten Anteil der Wiener Bevölkerung, der beruflich mit Blei in keiner Berührung stand. Als Methode der Wahl für Serienanalysen wird das Verfahren der flammenlosen Atomabsorption angesehen. Die statistische Auswertung der Ergebnisse liefert einen Mittelwert von $26 \mu\text{g}$ Blei pro 100 g Autopsieblut ($s = 9,5 \mu\text{g}$). Die graphische Darstellung ergibt das Bild einer Gaußschen Normalverteilung. Eine Altersabhängigkeit der Bleiwerte konnte nicht festgestellt werden.

2.4.2. Blutbleigehalt bei beruflich Bleiexponierten

Als labordiagnostische Beurteilungskriterien bei der Überwachung beruflich Bleigefährdeter gelten nach LEH-NERT und Mitarbeiter (1970) für Blutblei

als normal:

kleiner $30 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$;

als akzeptabel (sofern konstant):

kleiner $70 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$;

als gefährlich:

größer $70 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ oder deutlicher Anstieg.

Kollektive bleiexponierter Arbeitnehmer liegen varianz-analytisch hochsignifikant über der usuellen Blutbleikonzentration:

So ermitteln SCHMIDT und Mitarbeiter (1972) für ein Kollektiv von 29 Verkehrspolizisten $17,3 \pm 0,5 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml.

SANSONI und Mitarbeiter (1972) finden bei bleiexponierten Arbeitern in der Kraftfahrzeugindustrie im Blut von Polierer $58,0 \pm 5$, von Lötler $54,0 \pm 2,5$, von Putzer $52,0 \pm 5$ und von Schleifer $49,7 \pm 4,3 \mu\text{g}$ Blei pro 100 ml.

LEHNERT (1968) fordert auch eine Standardisierung der Blutentnahmezeit bei der Kontrollüberwachung in Betrieben auf die frühen Vormittagsstunden. Die tageseitliche Schwankung in der Blutbleikonzentration - bedingt durch eine circadiane Rhythmik und durch die Nahrungsaufnahme - zeigt hier eine Plateaubildung.

3. METHODIK

3.1. Kollektivbeschreibung

3.1.1. Kollektiv der "normal-zivilisatorisch" Bleicelasteten (n = 21)

Für die Patienten galten folgende Auswahlkriterien:

1. Beim Patienten mußte ein Zahn zur Extraktion anstehen, mit abgeschlossenem Wurzelwachstum, zahnärztlich unversorgt und die Zahnkrone durfte durch Karies nicht total zerstört sein.

Eine iatrogene Bleizufuhr durch Amalgamfüllungen oder Wurzelfüllmaterialien - das viel verwendete Wurzelkanalfüllmittel N2 von SARGENTI enthält rund 25 % Mennige (Pb_3O_4) - war folglich ausgeschlossen.

Es boten sich besonders Weisheitszahnextraktionen mit gnathologisch-kieferorthopädischer Indikationsstellung an (n = 14), daneben 12-Jahrmolaren, die entweder devital (n = 4) oder stark gelockert (n = 2) waren; zusätzlich ein Praemolar mit Stellungsanomalie.

2. Der Patient mußte Zahnsteinablagerungen aufweisen.
3. Es durfte keine berufliche Bleibelastung vorliegen. Eine mögliche Bleiexposition durch den Genuß von insbesondere sauren Speisen aus Keramikgeschirr wurde ausgeschlossen.

Das Durchschnittsalter der 21 Patienten betrug 27,5 Jahre (s = 7,1).

3.1.2. Beruflich Bleiexponierte (n = 5)

Patienten waren 5 Arbeiter aus der Münchner Kraftfahrzeugindustrie, welche am Arbeitsplatz als Schleifer (n = 3), Blechschlosser und Lötter mit Blei belastet waren und dort der arbeitsmedizinischen Bleiüberwachung unterlagen.

Das Durchschnittsalter betrug 36,2 Jahre (s = 1,92).

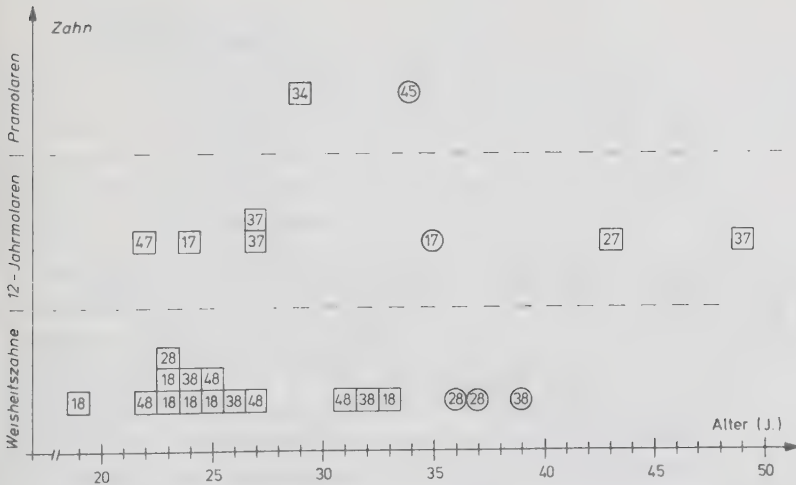


Abb.1: Die graphische Darstellung zeigt die Altersverteilung der 21 Patienten des Normalkollektives (Quadrate) und der 5 beruflich Bleiexponierten (Kreise) zusammen mit dem jeweils extrahierten Zahn (nach dem zweiziffrigen FDI-System bezeichnet).

3.2. Probenahme

Die Probenahme von Zahnstein, Zahn, Knochen und Blut geschah in einer Sitzung.

Die Zahnsteinentnahme erfolgte analog der Methode von HERZOG; nur von den Unterkiefer- Frontzähnen lingual, mit sichelförmigen Handinstrumenten (ASH-Scaler mit Wolframkarbidschneide), möglichst als gröbere Schollen abgesprengt (erleichtert die Wägung); anschließend mit Aqua destillata im Filter gespült, über Nacht luftgetrocknet und in einem verschlossenen Quarzglas aufbewahrt. Gesammelte Zahnsteinmenge: zwischen 0,5 - 30 mg Zahnstein pro Patient.

Der frisch extrahierte Zahn wurde mit einem Plastikinstrument abgeschabt, mit Aqua destillata abgespült, mit einem Kleenex abgetupft und in einem Plastikbeutel eingefroren.

Die Aufteilung des Zahnes in anatomische Krone und Wurzel wurde jeweils mit einer neuen Nylontrennscheibe vorgenommen. Mit ihr wurden auch Kariesläsionen großzügig ausgeschliffen und stärkere Verfärbungen in der Schmelzoberfläche entfernt. Das Pulpagewebe wurde exstirpiert. Die Bleigehaltsbestimmung erfolgte somit nur in "gesunder" Zahnschubstanz.

Der entweder mitextrahierte und dann vom Zahn abgetrennte Alveolarknochen, oder mittels Luer-Zange im Zuge einer Alveolarkammglättung gewonnene Alveolarknochen wurde wie der Zahnstein weiterbehandelt und in einem verschlossenen Quarzglas eingefroren. Gesammelte Knochenmenge: zwischen 2 - 120 mg pro Patient.

Mit Einmalspritzen wurde dem Patienten noch 2 ml Venenblut am Arm entnommen und sofort gleichmäßig auf 4 bereits vorgewogene, konditionierte Quarzgläser (Vierfachbestimmung) verteilt und eingefroren.

Eine Kontamination der Proben mit Staub wurde ausgeschlossen. Quarzgläser, Aqua destillata, Zahnsteininstrumente (ASH-Sicheln), Filterpapier und Nylonscheiben wurden auf ihre Bleifreiheit überprüft, um den Anforderungen an eine Probenahme für Spurenanalysen im ppm-Bereich (SANSONI 1972) gerecht zu werden.

3.3. Bleibestimmung mittels Atom-Absorptions-Spektralanalyse

Aufgrund der zu erwartenden sehr kleinen Absolutmengen an Blei im Untersuchungsmaterial wurde als Analysenmethode die Atom-Absorptions-Spektroskopie in ihrer flammenlosen Ausführung im Graphitrohr ausgewählt.

"Diese Methode vereinigt hohe Selektivität und Empfindlichkeit mit einfacher und rascher Arbeitsweise auch für große Versuchsreihen sowie mit niedrigen Betriebskosten. Sie beruht darauf, daß die von einer Blei-Hohlkathodenlampe ausgehende Resonanzlinie des Bleies von 283,3 nm in der verdampften und in Atome aufgespaltenen Analysenprobe teilweise absorbiert und ihre Schwächung in einem nachgeschalteten Spektralphotometer gemessen wird. Die Extinktion ist proportional der Konzentration freier Bleiatome.

- Die flammenlose Atom-Absorptions-Spektroskopie von L'VOV nach MASSMANN verdampft und atomisiert

dabei die Probenlösung stationär in einem elektrisch auf bis zu 2700° C geheizten Graphitrohr unter Inertgas." (SANSONI und andere in 'Environmental health aspects of lead')

Die Bleibestimmungen wurden im Institut für Strahlenschutz (Leiter: Prof.Dr.W.JACOBI), Arbeitsgruppe: Analytik und Ökologie von Radionukliden (Leiter: Dr.K. BUNZL) der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, München, ausgeführt. Die Leitung und Überwachung der Analysen oblag Herrn W.KRACKE.

Grundlage für die speziellen Bleibestimmungen im Untersuchungsmaterial war die Methode der "Mikrobestimmung von Blei in verschiedenartigen Umweltproben durch flammenlose Atomabsorption nach externer Naßveraschung mit $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ", wie sie von SANSONI, KRACKE, DIETL und FISCHER (1972) entwickelt worden war.

3.3.1. Vorbereitung der Proben

Die Proben von Zahnstein, Zahnhartgewebe und Knochen wurden im Exsiccator bei 55°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Anschließend erfolgte die Wägung der Proben auf einer Präzisionsmikrowaage (Firma SATORIUS, Genauigkeit: 0,00001 Gramm).

Die Blutproben waren in bereits vorgewogene Quarzreagenzgläser entnommen worden, die Einwaage war daher als Gewichts Differenz zur zweiten Wägung zu ermitteln.

3.3.2. Chemische Analysenschritte

Damit Bleiverluste durch Adsorption an der Gefäßwandung gering blieben, wurden alle chemischen Analysenschritte für die Aufarbeitung einer Probe in nur einem, möglichst kleinem und mit Fluß- sowie Salzsäure vorher konditionierten Quarzreagenzglas ausgeführt (Sonderanfertigung durch die Firma BENDER & HOBEIN, München mit den Maßen: Länge 10 cm, Lumen 1 cm).

Um die Einschleppung von Bleispuren in die Analyse zu vermeiden, wurden nur "pro analysi" oder "suprapur" Chemikalien verwendet:

Firma MERCK: Salpetersäure 65 %ig, suprapur,
Wasserstoffperoxid 30 %ig, pro analysi,
Ammoniaklösung 25 %ig, suprapur,
Flußsäure 2 %ig, pro analysi,
Salzsäure halbkonzentriert, pro analysi.

3.3.2.1. Chemische Analysenschritte zur Aufarbeitung der Proben von Zahnstein, Zahnhartgeweben und Knochen

Die Proben von Zahnstein, Zahnhartgeweben und Knochen wurden durch konzentrierte Salpetersäure im Aluminiumblock auf Heizplatte RCH (Firma JANKE und KUNKEL) bei 90° C in Lösung gebracht.

Es resultierte eine getrübbte Lösung, zu der dann portionsweise 30 % Wasserstoffperoxid so lange zugesetzt wurde, bis eine wasserklare Lösung erreicht wurde (= Naßveraschung mit OH-Radikalen aus $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ nach SANSONI und KRACKE).

Anschließend wurde die Lösung fast bis zum Trocknen eingengt.

Mittels 0,4 normaler Salpetersäure wurde die Arbeitslösung schließlich auf etwa 2 Milligramm Probeneinwaage pro Milliliter eingestellt.

Eine Überprüfung dieser chemischen Analysenschritte mit radioaktivem Blei (Firma BUCHLER, Braunschweig: Blei-212, abgetrennt aus Radium-224, Halbwertszeit von 10,64 Stunden) ergab, daß hierbei praktisch keine Bleiverluste auftraten.

3.3.2.2. Chemische Analysenschritte zur Aufarbeitung der Blutproben

Zwischen 0,4 und 0,5 g Bluteinwaage wurden im Quarzreagenzglas mit konzentrierter Salpetersäure vorhydrolysiert.

Dies vermied ein Schäumen bei der nachfolgenden Naßveraschung mit Wasserstoffperoxid.

Es folgte eine Anreicherungsfällung mit Ammoniaklösung, welche das Blei um den Faktor von etwa 4 anreicherte.

Schließlich wurde der erhaltene Hydroxid-Phosphat-Niederschlag in 0,4 normaler Salpetersäure gelöst.

Die Ausbeute der chemischen Analysenschritte wurde wiederum mit radioaktiven Blei-212 (gammaskpektrometrisch über die 239 keV-Linie) kontrolliert und betrug im Mittel etwa 95 %.

3.3.3. Eichlösungen für die flammenlose Atomabsorption im Graphitrohr

Die flammenlose Atomabsorption im Graphitrohr liefert wie die Mehrzahl aller analytischen Bestimmungsmethoden nur Relativwerte, aus denen erst durch Eichung die gesuchten absoluten Konzentrationen erhalten werden.

Wir verwendeten die Zumischung kleiner, bekannter Mengen Blei nach der Additionsmethode sowie eine Zahnsteinmodell-Lösung.

Einer nach Analysenangaben von P.GRON, G.J.VAN CAMPEN und J.LINDSTROM hergestellten Zahnsteinmodell-Lösung mit der Zusammensetzung: 77,4 % Asche; 34,2 % Ca, 18,9 % P, 0,9 % Mg, 0,046 % F wurden definierte Mengen von 5 bis 50 Mikrogramm Pb pro Liter zugesetzt und daraus eine Eichkurve erarbeitet.

Zur Ermittlung jener Konzentration von Zahnstein, von der an störende Rauchpeaks auftraten und damit eine höhere Bleimenge vortäuschten, war die Höhe der unspezifischen Absorption bei der Wellenlänge von 283,3 Nanometer in Abhängigkeit von der Konzentration des gelösten Zahnsteins gemessen worden. Hierbei ergab sich, daß bis zu einer Konzentration von 2,3 mg Zahnstein/ml Lösung keine störenden Rauchpeaks gemessen wurden.

Deshalb lagen die Konzentrationen der Arbeitslösungen der Zahnstein-, Zahnhartgewebe- und Knochenproben dann immer unter 2 mg/ml.

Zur Eichung des Atom-Absorptions-Spektrophotometers im Bereich von 10 - 100 µg Blei/l diente eine 0,4

normale salpetersaure Bleinitratlösung (Eichlösung für die Blutproben).

3.3.4. Messung des Bleigehaltes der einzelnen Probenlösung im Atom-Absorptions-Spektralphotometer

Als Atom-Absorptions-Spektralphotometer wurde das Gerät G 290 kombiniert mit der Graphitrohrküvette HGA 70 der Firma PERKIN-ELMER verwendet.

Die Nachweisgrenze für Blei lag hier bei etwa 5 ppb (Arbeitslösungsmenge 20 µl).

Von den einzelnen Probenlösungen gelangten jeweils vier mal 20 Mikroliter zur Messung, die mit einer Eppendorf-Pipette in das kalte Graphitrohr eingespritzt wurden.

Die Proben wurden hierauf durch stufenweises Erhöhen der Temperatur im Graphitrohr thermisch vorbehandelt:

1. Trocknungsstufe: 20 Sekunden bei 100° C,
 2. Trocknungsstufe: 30 Sekunden bei 750° C,
- und schließlich durch eine rasche weitere Temperatursteigerung auf 2300° C (20 Sekunden lang) atomisiert.

Das "Ausheizen" des Graphitrohres erfolgte bei 2600° C.

Die Reproduzierbarkeit bei viermaligem Einspritzen einer Bleilösung betrug im Bereich von 5 - 20 µg/l etwa 15 %, im Bereich von 10 - 100 µg/l etwa 5 %.

4. ERGEBNISSE

4.1. Normalkollektiv

4.1.1. Meßwerte

Das jeweilige Meßergebnis - Bleigehalt in ppm - der Proben von Zahnstein, Zahn (aufgetrennt in Krone und Wurzel) und Alveolarknochen entstand aus dem arithmetischen Mittelwert von je vier Messungen im Atom-Absorptions-Spektralphotometer für jede Probe.

Zusätzlich wurde der Variationskoeffizient der Vierfachmessung berechnet, welcher uns die Standardabweichung in Prozent vom Mittelwert angibt.

Der Bleigehalt im Blut - angegeben als μg Blei / 100 ml Blut - resultierte aus dem arithmetischen Mittelwert von vier Einzelanalysen, welche jeweils wieder vierfach im Atom-Absorptions-Spektroskop gemessen worden waren.

Für die vier Einzelanalysen wurde die Standardabweichung berechnet.

Neben den Meßwerten und ihren Standardabweichungen bzw. ihren Variationskoeffizienten wurde in der nachfolgenden Tabelle noch jeweils das Alter der 21 Patienten des Normalkollektives und der extrahierte Zahn (nach dem zweiziffrigen FDI-System bezeichnet) aufgelistet.

Meßwerttabelle:

VK: Variationskoeffizient

Ⓐ: mittels NALIMOV-Ausreißertestung errechnete signifikante Ausreißer

Pat.	Alt. (J)	Zahn	Zahnst. Pb ppm	Krone Pb ppm	Wurzel Pb ppm	Knochen Pb ppm	Blut µg Pb/100 ml
R.K.	27	37	4,0 VK= 1,49%	4,3 VK=19,45%	5,0 VK=13,76%	3,7 VK= 1,36%	8,6 ± 0,4
B.W.	24	17	5,0 VK= 0,96%	4,1 VK=14,53%	2,0 VK=36,67%	2,0 VK= 9,89%	10,2 ± 0,15
H.A.	22	47	3,6 VK= 1,92%	1,8 VK=41,03%	3,6 VK=21,93%	5,4 VK= 1,02%	12,9 ± 1,5
R.J.	27	37	7,3 VK= 0,76%	2,5 VK=25,74%	6,9 VK=10,21%	6,5 VK= 3,40%	13,7 ± 0,2
K.H.	33	18	1,5 VK= 4,53%	2,8 VK=34,25%	5,5 VK=10,11%	4,5 VK= 1,33%	10,0 ± 1,1
J.S.	32	38	3,4 VK= 1,73%	4,1 VK=16,31%	Ⓐ 12,6 VK= 6,08%	6,4 VK= 3,46%	18,3 ± 2,7
K.C.	31	48	5,1 VK= 1,07%	1,9 VK= 8,50%	4,6 VK= 3,97%	1,8 VK= 9,67%	11,3 ± 1,4
K.P.	25	48	7,1 VK= 1,12%	2,8 VK= 5,51%	5,0 VK= 3,02%	4,3 VK= 1,12%	8,3 ± 0,1
T.Y.	26	38	0,7 VK=43,87%	0,8 VK=17,66%	3,4 VK= 3,74%	Ⓐ 46,8 VK= 2,30%	9,4 ± 0,5
M.R.	24	18	4,0 VK= 1,29%	4,7 VK= 3,16%	8,0 VK= 1,83%	3,3 VK= 5,97%	10,45 ± 2,8
B.M.	49	37		Ⓐ 10,7 VK= 3,02%	Ⓐ 13,1 VK= 1,49%	7,6 VK= 5,81%	10,95 ± 1,0

Meßwerttabelle:

VK: Variationskoeffizient

Ⓐ: mittels NALIMOV-Ausreißertestung errechnete signifikante Ausreißer

Pat.	Alt. (J)	Zahn	Zahnst. Pb ppm	Krone Pb ppm	Wurzel Pb ppm	Knochen Pb ppm	Blut µg Pb/100 ml
G.J.	43	27	1,0 VK=20,11%	5,4 VK= 0,84%	9,9 VK= 2,09%	5,2 VK= 4,32%	12,3 ± 1,3
L.E.	23	28	Ⓐ 25,6 VK= 7,14%	4,4 VK= 1,84%	7,3 VK= 0,99%	4,9 VK= 1,15%	18,4 ± 1,2
L.K.	24	38	3,5 VK=12,49%	2,1 VK= 4,07%	4,0 VK= 2,34%	5,7 VK= 0,96%	15,6 ± 0,2
K.G.	19	18	6,7 VK= 6,96%	1,7 VK= 4,89%	2,2 VK= 3,39%	4,1 VK=10,04%	8,7 ± 0,5
L.R.	25	18	2,3 VK=15,88%	0,9 VK= 8,80%	3,0 VK= 2,49%	5,7 VK= 1,00%	6,6 ± 0,2
R.P.	23	18	7,5 VK= 3,20%	5,5 VK= 1,52%	8,5 VK= 0,96%	3,4 VK=12,30%	Ⓐ 38,6 ± 1,3
H.M.	29	34	5,2 VK= 4,07%	4,2 VK= 4,82%	6,0 VK= 4,03%	5,3 VK= 4,49%	11,7 ± 0,4
D.J.	23	18	5,6 VK= 4,03%	2,4 VK=11,02%	4,2 VK= 5,39%	4,7 VK= 4,37%	12,0 ± 1,4
W.K.	22	48	Ⓐ 12,9 VK= 3,51%	3,6 VK= 5,91%	4,8 VK= 5,39%	5,8 VK= 3,85%	18,85 ± 0,9
E.M.	27	48	4,2 VK= 4,92%	3,4 VK= 7,17%	8,8 VK= 2,70%	7,7 VK= 2,79%	Ⓐ 24,9 ± 1,0

4.1.2. Normalverteilung nach NALIMOV-Ausreißertestung und deren Überprüfung mittels des χ^2 -Testes

Die Elimination der Ausreißer in den Meßwerten einer Probenreihe erfolgte mit Hilfe des Ausreißertestes nach NALIMOV.

Die errechneten signifikanten Ausreißer (in der Meßwerttabelle mit (A) gekennzeichnet) wurden zur weiteren Auswertung entfernt.

Die Abbildungen 2 bis 6 zeigen eine graphische Darstellung der Meßergebnisse des Bleigehaltes in Zahnstein, Zahnkrone, Zahnwurzel, Knochen und Blut nach der Elimination der Ausreißer.

Auf der Abszisse wurde jeweils der Bleigehalt in ppm Blei bzw. in μg Blei / 100 ml Blut aufgetragen, auf der Ordinate die Häufigkeit in Prozent.

Die Meßwerte wurden in Klassen von je 1,5 ppm Blei bzw. 3 μg Blei / 100 ml Blut eingeteilt, in der Zeichnung als Säulen dargestellt.

Zusätzlich wurde jeweils der Graph der Verteilungsfunktion eingezeichnet.

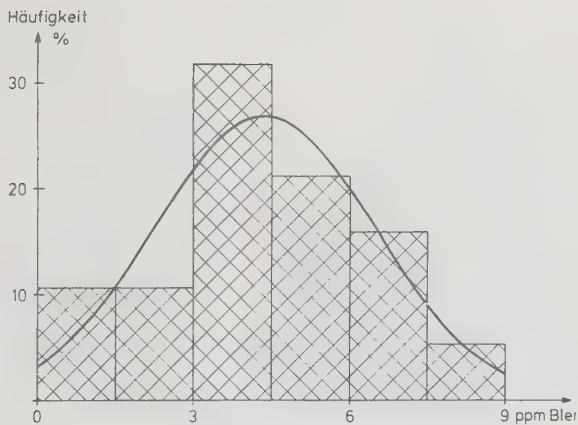


Abb.2: Bleigehalt im Zahnstein.
Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse ($n = 18$)
nach Ausreißerkontrolle.

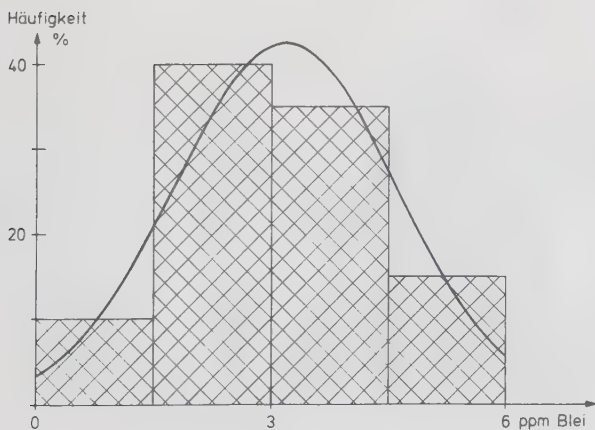


Abb.3: Bleigehalt in der Zahnkrone.
Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse ($n = 20$)
nach Ausreißerkontrolle.

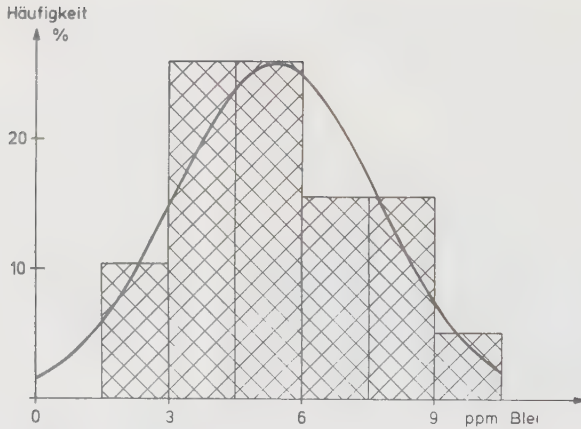


Abb.4: Bleigehalt in der Zahnwurzel.
Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse (n = 19)
nach Ausreißerkontrolle.

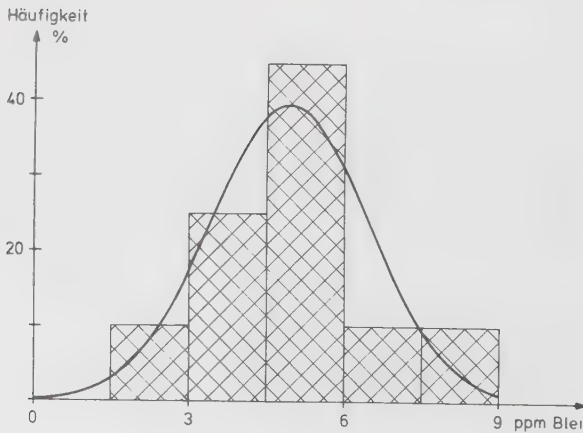


Abb.5: Bleigehalt im Alveolarknochen.
Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse (n = 20)
nach Ausreißerkontrolle.

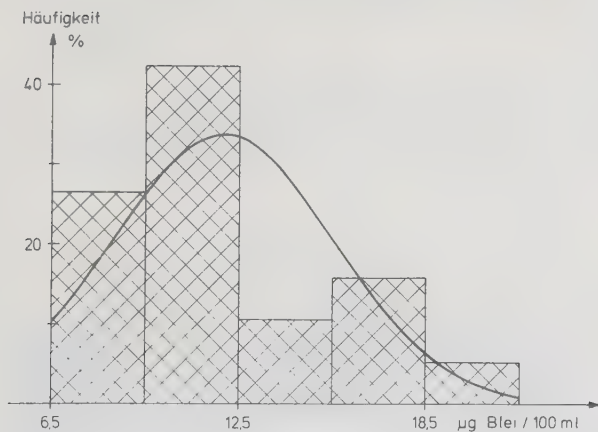


Abb.6: Bleigehalt im Blut.

Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse ($n = 19$)
nach Ausreißerkontrolle.

Eine vom optischen Bild der Graphen vermutete Normalverteilung der Bleigehalte wurde mit Hilfe des χ^2 -Testes auf Normalverteilung (auf dem 5 % Niveau) jeweils überprüft und bestätigt.

4.1.3. Mittelwerte des Bleigehaltes und ihre Standardabweichungen

Aufgrund der Normalverteilungen konnten Mittelwerte des Bleigehaltes in Zahnstein, Zahnkrone, Zahnwurzel, Alveolarknochen und Blut angegeben werden (und ihre Standardabweichungen).

Bleigehalte in ppm

	Mittelwert	Stand. abw.	Bereich	Zahl	eliminierte Ausreißer
Zahnstein	4,37	2,12	0,7 - 7,5	18	2 (12,9/25,0)
Krone	3,17	1,40	0,8 - 5,5	20	1 (10,5)
Wurzel	5,41	2,28	2,0 - 9,9	19	2 (12,6/13,1)
Alveolar-knochen	4,95	1,51	1,8 - 7,7	20	1 (46,8)

in µg / 100 ml

Blut	12,01	3,55	6,6 - 18,9	19	2 (38,6/24,9)
------	-------	------	------------	----	---------------

4.1.4. Zusammenstellung der Werte mit Hilfe des t-Testes

Mittels des Differenzen-t-Testes wurden diese Mittelwerte untereinander verglichen:

Differenzen t - Test
zum Vergleich der Mittelwerte der Bleigehalte

	Wurzel	Knochen	Zahnstein	Krone
Wurzel		n. f.	n. f.	***
Knochen	n. f.		n. f.	***
Zahnstein	n. f.	n. f.		*
Krone	***	***	*	

n. f. : Unterschied nicht feststellbar

* " wahrscheinlich

*** " hochsignifikant

Bleigehalte : Wurzel $\hat{=}$ Knochen $\hat{=}$ Zahnstein > Krone

4.2. Meßwerte der beruflich Bleiexponierten (n = 5)

Die Meßwerte wurden analog jener des "Normalkollektives" berechnet und angegeben.

Die Auflistung erfolgte nach ansteigendem Blutbleigehalt.

(VK = Variationskoeffizient)

Pat.	Alter (J)	Zahn	Pb-Blut µg/100 ml	Krone ppm	Wurzel ppm	Knochen ppm	Zahnst. ppm
Ö.C.	37	28	38,0 VK=2,6%	9,7 VK=4,18%	32,8 VK=2,78%	35,2 VK=1,35%	39,2 VK=1,30%
U.A.	34	45	43,5 VK=5,5%	14,0 VK=1,18%	69,9 VK=1,11%	62,5 VK=1,57%	17,8 VK=3,03%
K.F.	35	17	72,4 VK=5,2%	5,2 VK=2,67%	31,4 VK=0,52%	110,0 VK=1,66%	24,0 VK=1,60%
T.M.	39	38	78,6 VK=19,5%	23,0 VK=0,81%	98,0 VK=1,41%	154,0 VK=1,84%	19,5 VK=1,94%
E.E.	36	28	etwa 100	16,8 VK=2,56%	85,5 VK=1,56%	282,0 VK=1,62%	236,0 VK=1,62%

5. KRITISCHE AUSWERTUNG

5.1. Literaturvergleich der "normal-zivilisatorischen" Bleigehalte

Der von SONNABEND und Mitarbeiter (1976) und HERZOG (1977) erstmals nachgewiesene "normal-zivilisatorische" Bleigehalt im Z a h n s t e i n wird durch dieses Ergebnis voll bestätigt. Bei 79 männlichen "Normalpersonen" ermittelten sie einen durchschnittlichen Bleigehalt von $5,58 \pm 6,23$ ppm im Zahnstein. Mittels gleicher Methodik bestimmten wir bei 21 "normal-zivilisatorisch" Bleibelasteten einen Mittelwert von $4,37 \pm 2,12$ ppm Blei.

Bei früheren Untersuchungen des Zahnsteins auf Blei von HINTZE (1912), MINKER (1928), SCHENKEL (1929), SCHMIDT (1933) und PFRIEME (1934) konnte aufgrund der unzulänglichen Analytik kein "normal-zivilisatorischer" Bleigehalt im Zahnstein nachgewiesen werden. Nur exzessiv hohe Bleikonzentrationen im Zahnstein beruflich Bleiexponierter waren bestimmbar (HINTZE 1912, MINKER 1928).

Im Vergleich zum hohen "normal-zivilisatorischen" Bleigehalt im Milchzähnen und bleibenden Zähnen bei amerikanischen Untersuchungen - ALTSHULLER und Mitarbeiter (1962), STREHLOW und KNEIP (1969), SHAPIRO und Mitarbeiter (1972; 1973) - zeigen Bleikonzentrationsbestimmungen im europäischen Raum (TILL und SCHUBERT (1977), LANGMYHR und Mitarbeiter (1974), STEWART (1974) wesentlich geringere Werte

TILL und SCHUBERT (1977) ermittelten in Wurzeln kariesfreier Zähne ($n = 3$) einen Bleigehalt von $10,0$ ppm.

LANGMYHR und Mitarbeiter (1974) bestimmten bei 14 Zähnen Bleikonzentrationen zwischen $1,1$ und $6,4$ ppm.

Unsere Untersuchung des "normal-zivilisatorischen" Bleigehaltes im Zahnhartgewebe erbrachte für die Zahnkronen ($n = 20$) einen Mittelwert von $3,17 \pm 1,40$ ppm und für die Zahnwurzeln ($n = 19$) einen von $5,41 \pm 2,28$ ppm.

Erstaunlich hoch - 45 ppm in der Knochenasche - lag dagegen der Mittelwert, welchen PFRIEME 1934 als "normal-zivilisatorischen" Bleigehalt in Zähnen bestimmte.

Post mortem wurden zahlreiche Untersuchungen über den "normal-zivilisatorischen" Bleigehalt im menschlichen Knochengewebe durchgeführt:

BARRY (1975), GRANDJEAN (1975), MARUNA und STIPINOVIC (1974), SCHROEDER (1968), STREHLÖW und KNEIP (1969); Forschungsergebnisse vor 1960 sind bei WEINIG und BÖRNER tabellarisch zusammengefaßt.

Mittels einer Knochenbiopsie kann auch in vivo der direkte quantitative Bleinachweis im Knochengewebe geführt werden: WESTERMANN und Mitarbeiter (1965) und GOSSMANN und HEILENZ (1967) bestimmten den Bleigehalt in Knochenbiopsieproben vom Beckenkamm beruflich bleiexponierter beziehungsweise nur "normal-zivilisatorisch" bleibelasteter Patienten. Erstere

fanden in diesen Gewebeproben einen "normal-zivilisatorischen" Bleigehalt von unter 4 mg/100 g Frischgewicht, GOSSMANN und HEILENZ bestimmten bei 4 nicht bleiexponierten Personen Bleikonzentrationen zwischen 4,0 und 12,5 µg/g Knochenasche.

Wir gewannen unsere Knochenproben im Zuge einer Alveolarkammglättung nach der Zahnextraktion. Bei 20 Knochenbiopsien (jeweils vom limbus alveolaris) ergab sich ein Mittelwert von $4,95 \pm 1,51$ ppm im bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Knochengewebe.

In Knochenautopsieproben vom Schädel (jeweils os temporale, n = 16) bestimmte GRANDJEAN (1975) atomabsorptionsspektrophotometrisch einen mittleren Bleigehalt von 2 ppm (ebenfalls auf das Knochentrockengewicht bezogen).

Der Bleigehalt im B l u t wurde nach dem von SANSONI und Mitarbeiter (1972) angegebenen Verfahren bestimmt. Unser gefundener mittlerer Bleigehalt von $12,01 \pm 3,55$ µg/100 ml Blut bei 21 nur "normal-zivilisatorisch" Bleibelasteten stimmt gut mit ihrem veröffentlichten Mittelwert von $12,3 \pm 0,4$ µg Pb/100 ml überein (n = 75).

Nur wenig höher lagen die - ebenfalls atomabsorptionsspektralphotometrisch bestimmten - Blutbleianalysen von LEHNERT (1968) bei 400 beruflich nicht bleibelasteten Erwachsenen mit $14,9 \pm 4,8$ µg Pb/100 ml Vollblut.

Eine von GOLDWATER und HOOVER (1967) erstellte "internationale" Vergleichsstudie über den normalen Bleigehalt im Blut (Blutproben aus 16 Ländern kamen zur Auswertung) lieferte einen etwas höheren "internationalen" Mittelwert von $17 \pm 11 \mu\text{g Pb} / 100 \text{ ml Blut}$.

"Der EG-Richtlinienvorschlag 'betreffend die biologischen Normen für Blei' geht von folgender Verteilung aus: 50 % der Gesamtbevölkerung unter $20 \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$, 90 % unter $30 \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$, 100 % unter $35 \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$. Damit soll nicht nur die Überschreitung einer oberen Grenze, sondern auch eine Verschiebung innerhalb der Bevölkerung in Richtung auf eine höhere Allgemeinbelastung verhindert werden."

(Zitiert aus "Berichte 3/76 Luftqualitätskriterien für Blei" des UMWELTBUNDESAMTES)

5.2. Verhalten der Parameter bei beruflicher Blei- belastung

Die Parallelbestimmung der Bleigehalte in Zahnstein, Zahnkrone, Zahnwurzel, Alveolarknochen und Venenblut von beruflich Bleiexponierten (arbeitsmedizinisch überwachte Arbeiter der Kraftfahrzeug-Industrie) ergab stark erhöhte Bleigehalte bei allen untersuchten Parametern.

Gegenüber den aufgezeigten Mittelwerten des "Normalkollektives" war der Bleigehalt im Zahnstein 3,7 bis 49,2-fach, in der Zahnkrone 1,6 bis 7,2-fach, in der Zahnwurzel 5,8 bis 18,1-fach, im Alveolarknochen 7,0 bis 56,4-fach und im Venenblut 3,2 bis 8,3-fach erhöht.

Im Einklang mit WESTERMAN und Mitarbeiter (1965) fanden wir mit steigendem Bleigehalt im Blut einen erhöhten Bleigehalt im Knochen.

Die Zahnwurzeln wiesen eine 3,4 bis 6,0-fach höhere Bleikonzentration gegenüber den Zahnkronen auf. Die intensive Bleiablagerung im circumpulpalen Dentin und den neugebildeten Sekundärdentinschichten während der Gebrauchsperiode des Zahnes (TIMM 1936, OHM 1964, SHAPIRO und Mitarbeiter 1972; 1973, CARROL und Mitarbeiter 1972) macht sich offenbar im Wurzelanteil des Zahnes stärker bemerkbar als in seinem Kronenanteil.

Sie überlagert wohl auch jene Bleianreicherung, welche der oberflächlichste Schmelz via Ionenaustausch mit der Mundhöhlenflüssigkeit erfährt (BRUDEVOLD und STEADMAN 1956, BRUDEVOLD und Mitarbeiter 1975).

Bereits 1934 hatte PFRIEME einen zwei Drittel geringeren Bleigehalt im Schmelz gegenüber im Dentin beschrieben.

Der Bleigehalt im Zahnhartgewebe zeigte keine Korrelation mit dem Bleigehalt im Blut. Eine Korrelation zwischen dem Bleigehalt in Milchzähnen und dem Blutbleigehalt konnten HABERCAM und Mitarbeiter (1974) und ALTSHULLER und Mitarbeiter (1962) nachweisen.

Nach STREHLOW (1969) kann aufgrund des unterschiedlichen Speicherverhaltens von Knochengewebe und Zahnhartgewebe der Bleigehalt im Knochen nicht mit jenem der Zähne korrelieren; dies zeigten auch unsere Untersuchungen.

Der Bleigehalt im Zahnstein ließ bei den beruflich Bleibelasteten weder eine direkte Wechselbeziehung zum Bleigehalt in Blut oder Knochen noch zur Bleikonzentration in den Zahnhartgeweben erkennen. Klar erkennbar ist aber die signifikante Erhöhung des Bleigehaltes im Zahnstein bleiexponierter Personen, wie sie SONNABEND und Mitarbeiter (1976) und HERZOG (1977) beschrieben. Für bleibelastete Arbeiter desselben Kraftfahrzeugbetriebes bezifferten sie den mittleren Bleigehalt im Zahnstein mit $52,87 \pm 50,57$ ppm.

Der Blutbleigehalt lag bei 3 der 5 Arbeiter im - von LEHNERT und Mitarbeiter (1970) angegebenen - arbeitsmedizinisch bereits kritischen Bereich.

Mit einer Blutbleikonzentration um $100 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ und $282,0 \text{ ppm Pb}$ im Knochengewebe erscheint uns der Schleifer E.E. als hochgradig bleivergiftet. Bei ihm fällt vor allem auch der hohe Bleigehalt im Zahnstein mit 236 ppm auf.

5.3. Vergleich des Blei-Speicherverhaltens der untersuchten Parameter

Als nicht-altersabhängig gelten der Bleigehalt im Blut (LEHNERT 1968, MACHATA 1973) und im Zahnstein (HERZOG 1977).

Dagegen steigt der Bleigehalt in Zahnhartgeweben mit dem Lebensalter deutlich an:

Für bleibende Zähne haben dies PFRIEME (1934), BRUDERVOLD und STEADMAN (1959), STREHLOW und KNEIP (1969), GÖDRÖS (1972) und WILKINSON und PALMER (1975) nachgewiesen.

Eine stetige Zunahme des Bleigehaltes im Milchzahn nach seinem Durchbruch beschrieben ALTSHULLER und Mitarbeiter (1962), STEWART (1974) und LOCKERETZ (1975).

Ebenso steigt die Bleikonzentration im Knochengewebe mit dem Lebensalter an: BARRY (1975), BARTH (1931), WEINIG und BÖRNER (1961), GRANDJEAN (1975) - zumindestens bis zum 40. Lebensjahr (SCHROEDER und Mitarbeiter 1968).

Das Knochengewebe unterliegt aber ständigen Umbauprozessen; RIVERA (1965) bezifferte diese Umbaurate des Knochenstoffwechsels mit 3,5 % pro Jahr. Folglich wird im Knochengewebe abgelagertes Blei zum Teil auch mobilisiert.

Eine starke Mobilisation des im Knochen gespeicherten Bleis (des sogenannten Depot-Bleis) läßt sich pharmakologisch durch Calziumedetat-Natrium erzielen (LANGENBACH und UNSFELD 1961).

Demgegenüber liegt einmal im Zahnhartgewebe abgelagertes Blei fest (STREHLOW 1974) - abgesehen von Wurzelresorptionsvorgängen bei Milchzähnen und Substanzverlust infolge Karies.

Bei der Einlagerung des Bleis im Zahnhartgewebe lassen sich verschiedene Speicherphasen differenzieren:

Zunächst die Bleieinlagerung während der Zahnentwicklungsperiode, d.h. die Bleiaufnahme während der Matrixbildung und Mineralisation der Krone, bei der Wurzelbildung (ZENTAY 1968).

Der Bleigehalt der Schmelz- und Dentinhauptmasse gilt darum als Indikator für die Bleibelastung der Kalzifizierungszeit (CARROLL und Mitarbeiter 1972, SHAPIRO und Mitarbeiter 1972).

In der Gebrauchsperiode des Zahnes erfolgt auch weiterhin die Bleiaufnahme via Blutweg, Pulpa, Dentinkanälchen und dessen Ablagerung im Dentin (histochemische Lokalisation des Bleis von TIMM (1936), BARDOS (1970), GÖDRÖS (1970)).

Insbesondere die hohen Bleiwerte des circumpulpalen Dentins, der Sekundärdentinschichten, spiegeln diese Bleiaufnahme nach dem Zahndurchbruch wider (TIMM 1936, OHM 1964, SHAPIRO und Mitarbeiter 1972; 1973, CARROLL und Mitarbeiter 1972).

Bereits nicht durchgebrochene Zähne weisen in den äußeren Schichten des Schmelzes höhere Bleikonzentrationen auf als in den tiefer gelegenen (BRUDEVOLD und STEADMAN 1956). Der Schmelz akkumuliert also aus der Gewebsflüssigkeit Bleiionen.

Der Bleikonzentrationsgradient im Schmelz nimmt nach dem Zahndurchbruch weiter zu (BRUDEVOLD und Mitarbeiter 1956; 1975). Nach BRUDEVOLD und STEAD-

MAN (1956) erfolgt diese Bleianreicherung im Oberflächenschmelz analog der Fluoranreicherung. Für SHAPIRO und Mitarbeiter (1972) kommt die posteruptive Bleianreicherung aufgrund eines Ionenaustausches zwischen Oberflächenschmelz, Plaque und Mundmilieu zustande.

Einen erhöhten Bleigehalt weisen nach LITTLE und STEADMAN (1966) praekariöse weiße und braune Schmelzpartien auf.

Kariesläsionen stellen nach OHM (1964) und HENNINGS (1969) Bereiche einer Blei-Umverteilung bzw. eines Blei-Verlustes dar.

Von DI GREGORIO und Mitarbeiter (1974) und FUNG und Mitarbeiter (1975) wurden die Abhängigkeit des Bleigehaltes im Speichel (Parotisspeichel) vom Blutbleispiegel untersucht. Beide fanden nur eine sehr schwache Korrelation zwischen dem Blutbleispiegel und dem Bleigehalt im Speichel ($t = 0,137$ bzw. $t = 0,07$). Aufgrund der Ähnlichkeit der Bleikonzentrationsverhältnisse Plasma zu Erythrozyten (nach BARLTROP und SMITH (1971) sind über 90 % des Blutbleis an Erythrozyten gebunden) gleich Parotisspeichel zu Blut, vermuten DI GREGORIO und Mitarbeiter einen passiven Diffusions-Sekretionsprozeß zur Elimination des Blutbleis via Parotisspeichel.

Der Mundhöhlenflüssigkeit entstammen sowohl die Bleionen, die sich während der Gebrauchsperiode des Zahnes in seinen oberflächlichsten Schmelzschichten abgelagern, als auch jene Bleionen, welche sich im supra-gingivalen Zahnstein anreichern.

"Die supragingivale Zahnsteinentwicklung beginnt auf der Grundlage eines weichen, zäh auf der Zahnoberfläche haftenden Belagfilms, der durch Calciumphosphatausfällungen aus der Mundflüssigkeit inkrustiert wird. Chemisch-mineralogisch entspricht der anorganische Teil des Zahnsteines im wesentlichen dem zu den Hydroxylapatiten gehörenden Tricalciumphosphat."

(Zitiert aus "Grundlagen der Kariologie und Endodontie" von PILZ, PLATHNER, TAATZ).

Sowohl die Mikrokristalle der Zahnhartgewebe als auch des Knochengewebes bestehen aus Hydroxylapatit. Nach MAC DONALD und Mitarbeiter (1951) treten Bleionen im Austausch gegen Calciumionen an die Stelle des Calciums im Kristallgitter des Hydroxylapatits. In vitro-Versuche von GITELMANN und NEUMAN (1959) zeigten, daß wesentlich mehr Bleionen an den Apatit gebunden werden, als es ein reiner Ionenaustausch gegen Calciumionen zustande brächte. Es gelang ihnen aber nicht, nachzuweisen, daß das einmal an die Oberfläche absorbierte Blei in das Innere des Kristallgitters einzudringen vermag.

FLEISCH und Mitarbeiter (1965) demonstrierten in vitro, daß sehr kleine Bleikonzentrationen - physiologischen Bleikonzentrationen entsprechend - das minimale Löslichkeitsprodukt der Calcium- und der Phosphatkonzentration zur Apatitkristallbildung herabzusetzen vermögen. Sie denken, daß die Gegenwart von Blei bei der Kalzifizierung im Knochen eine Rolle spielen könnte.

Zu diskutieren wäre dementsprechend die Möglichkeit, daß die Anwesenheit von Bleiionen bei der Zahnsteinbildung unterstützend bzw. beschleunigend wirken könnte.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In der Literaturübersicht wurde eine umfassende Darstellung bisheriger Veröffentlichungen über den Bleigehalt in Zahnstein und Zahnhartgewebe angestrebt. Von den überaus zahlreichen Publikationen über den Bleigehalt in Knochen und Blut konnte nur eine sehr kleine Auswahl beschrieben werden.

Experimentell wurde von 21 nur "normal-zivilisatorisch" bleibelasteten Personen der Bleigehalt in Zahnstein, Zahnhartgewebe (die Zähne wurden jeweils in Krone und Wurzel aufgeteilt), Alveolarknochen und Venenblut parallel bestimmt.

Als Spurenanalysenmethode diente dabei die Atomabsorptionsspektrometrie in ihrer flammenlosen Ausführung im Graphitrohr.

Die erzielten Analysenwerte wurden statistisch ausgewertet. Nach erfolgter NALIMOV-Ausreißerkontrolle konnten Mittelwerte (und ihre Standardabweichungen) des "normal-zivilisatorischen" Bleigehaltes in Zahnstein ($4,37 \pm 2,12$ ppm), Zahnkrone ($3,17 \pm 1,40$ ppm), Zahnwurzel ($5,41 \pm 2,28$ ppm), Alveolarknochen ($4,95 \pm 1,51$ ppm) und venösem Blut ($12,01 \pm 3,55$ µg/100 ml) errechnet und mittels des Differenzen-t-Tests unter-

einander verglichen werden. Ein Unterschied im Bleigehalt von Zahnwurzel, Alveolarknochen und Zahnstein war nicht feststellbar. Hochsignifikant niedriger dagegen lag der Bleigehalt der Zahnkrone.

Eine nachfolgende Parallelbestimmung bei 5 beruflich Bleiexponierten ergab gegenüber den aufgezeigten "normal-zivilisatorischen" Werten stark erhöhte Bleigehalte bei allen untersuchten Parametern.

Die Bestimmung des Bleigehaltes im Zahnstein erwies sich im Vergleich zu den traditionellen Indikatoren Bleigehalt im Knochen bzw. in Zahnhartgeweben für den Nachweis chronischer Bleibelastung als sehr geeignet, zumal die Gewinnung des Untersuchungsmaterials hier besonders einfach ist.

7. SCHRIFTTUM

- (1) ALTSHULLER, L.F. Deciduous teeth as an index of
HALAK, D.B. body burden of lead
LANDING, B.H. J. Pediat. 60, 224-229 (1962)
KEHOE, R.A.
- (2) AUB, J.C. Bone metabolism studies by ra-
dioactive lead and radium
Indian J. Child Health 3, 601
(1954)
zitiert bei CORTI (1966)
- (3) BARDOS, I. Mikroskopisch-histochemischer
Vergleich der Bleiablagerungen
in Zähnen von Großstädtern und
Landleuten
Med. Diss. Göttingen (1970)
- (4) BARLTROP, D. Interaction of lead with ery-
SMITH, A. throcytes
Experientia 27, 92-93 (1971)
zitiert bei DI GREGORIO und
Mitarbeiter (1974)
- (5) BARRY, P.S. A comparison of concentrations
of lead in human tissues
Br. J. Ind. Med. 32, 119-139 (1975)
- (6) BARTH, E. Untersuchungen über den Bleige-
halt der menschlichen Knochen
Virchows Arch. path. Anat. 281,
146-151 (1931)

- (7) BEHRENS, B. Die Beziehungen der Bleiablagerungen zum Kalziumstoffwechsel
BAUMANN, A. Zschr. exp. Med. 92, 241-257
(1933)
- (8) BETHKE, K. Histochemische Untersuchungen an kariösen Milchzähnen und Weisheitszähnen
Med. Diss. Göttingen (1968)
- (9) BRUDEVOLD, F. Determination of trace elements
REDA, A. in surface enamel of human teeth
AASENDEN, R. by a new biopsy procedure
BAKHOS, Y. Arch. oral Biol. 20, 667-673
(1975)
- (10) BRUDEVOLD, F. The distribution of lead in human enamel
STEADMAN, L.T. J. dent. Res. 35, 430-437 (1956)
- (11) BUNTE, M. Zahnhalteapparat und Blei
Med. Diss. Göttingen (1969)
- (12) CAROW, M. Ablagerungen von Blei in Zähnen bei chronischer Bleivergiftung
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 13, 804
(1910)
- (13) CARROLL, K.G. The distribution of lead in human deciduous teeth
NEEDLEMAN, H. Experientia 28, 434-435 (1972)
TUNCAY, O.C.
SHAPIRO, I.M.

- (21) GÖDRÖS, M. Versuch eines Vergleichs der histo-
chemisch faßbaren Bleimengen in
Zähnen von Städtern und ländlichen
Bewohnern in der Schweiz
Med. Diss. Göttingen (1970)
- (22) GOLDWATER, L.J. An international study of "normal"
HOOVER, A.W. levels of lead in blood and urine
Arch. Environ, Health 15, 60-63
(1967)
- (23) GOSSMANN, H.H. Zum Bleigehalt menschlichen Kno-
HEILENZ, S. chengewebes
Dtsch. med. Wschr. 92, 2267-2269
(1967)
- (24) GRANDJEAN, P. Lead in Danes. Historical and To-
xicological Studies p. 6-75 in:
Environmental Quality and Safety
Supplement Volume II : Lead
Georg Thieme Publishers, Stutt-
gart (1975)
- (25) GUSSEROW, A. Untersuchungen über Bleivergif-
tungen
Virchows Arch. path. Anat. 21,
443-452 (1861)
- (26) HABERCAM, J.W. Lead content of human blood, hair,
KEIL, J.E. and deciduous teeth: correlation
REIGART, J.R. with environmental factors and
CROFT, H.W. growth
J.Dent. Res. 53, 1160-1163 (1974)

- (27) HENNINGS, D.R. Histochemische Untersuchungen an kariösen und amalgamgefüllten menschlichen Zähnen, sowie an Zähnen von Rind und Schwein
Med. Diss. Göttingen (1969)
- (28) HERZOG, J. Untersuchungen über den Blei- und Cadmiumgehalt des menschlichen Zahnsteins
Med. Diss. München (1977)
- (29) HINTZE, V. Zur Zahnpflege im Bleibetriebe
Berl. klin. Wschr. 49, 1041-1042 (1912)
- (30) KAISER, R. Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten
GOTSCHALK, G. B.I. Hochschultaschenbücher; Band 774
- (31) LANGENBACH, J. Untersuchungen über das sogenannte Depot-Blei im Organismus
UNSFELD, D.W. Klin. Wschr. 39, 381-386 (1961)
- (32) LANGMYHR, F.J. Atomic absorption spectrometric determination of cadmium and lead in dental material by atomization directly from the solid state
SUNDLI, A. Anal. Chim. Acta 73, 81-85 (1974)
JONSEN, J.
- (33) LEHNERT, G. Der Blutbleispiegel und seine Bedeutung für die Pathogenese und Prävention der beruflich bedingten Bleivergiftung
Schriftenreihe: Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene
Band 21, A.W. Gentner Verlag, Stuttgart 1968

- (34) LEHNERT, G. Diagnose und Therapie der industri-
SCHALLER, K.H. ellen Bleivergiftung
SZADKOWSKI, D. Med. Mschr. 24, 51-54 (1970)
- (35) LITTLE, M.F. Chemical and physical properties
STEADMAN, L.T. of altered and sound enamel.
IV. Trace element composition
Arch. oral. Biol. 11, 273-278
(1966)
- (37) LOCKERETZ, W. Lead content of deciduous teeth
of children in different environ-
ments
Arch. Environ. Health 30, 583-587
(1975)
- (38) LOSEE, F.L. Trace element concentrations in
CURZON, E.J. human enamel
LITTLE, M.F. Arch. oral. Biol. 19, 467-470
(1974)
- (39) MAC DONALD, N.S. Mechanisme in skeletal accumula-
NUSSBAUM, R.E. tion of ions
EZMIRLIAN, F. Arch. Biochem. , 118-126 (1953)
BARBERA, R.C. zitiert bei CORTI (1966)
SPAIN, P.
ROUNDS, D.E.
- (40) MACHATA, G. Blutbleigehalt der Wiener Bevölke-
rung
Wien. klin. Wschr. 85, 216-218
(1973)

- (54) SHAPIRO, I.M. Lead levels in dentine and circum-
DOBKIN, B. pulpal dentine of deciduous teeth
TUNCAY, O.C. of normal and lead poisoned child-
NEEDLEMAN, H.L. ren
Clin. chim. Acta 46, 119-123 (1973)
- (55) SHAPIRO, I.M. The lead content of human deci-
NEEDLEMAN, H.L. duous and permanent teeth
TUNCAY, O.C. Environ. Res. 5, 467-470 (1972)
- (56) SONNABEND, E. Untersuchungen über den Blei- und
SANSONI, B. Cadmiumgehalt im Zahnstein bei ver-
HERZOG, J. schiedenen Berufsgruppen
KRACKE, W. Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 189-191
 (1976)
- (57) SCHENKEL, E. Über die Beziehungen der Bleiver-
 giftung zu den Zahnkrankheiten
Med. Diss. Berlin (1929)
- (58) SCHMIDT, J. Untersuchungen über den Bleigehalt
 im Zahnstein und Speichel bei Ar-
 beitern des Bleigewerbes
Med. Diss. Leipzig (1933)
- (59) SCHMIDT, D. Die Bleibelastung der Münchner
SANSONI, B. Verkehrspolizei
KRACKE, W. Münch. med. Wschr. 114, 1761-1763
DIETL, F. (1972)
BAUCHINGER, M.
STICH, W.
- (60) SCHROEDER, H.A. The human body burden of lead
TIPTON, I.H. Arch. Environ. Health 17,
 965-978 (1968)

- (61) STEWART, D.J. Teeth as indicators of exposure
of children to lead
Arch. Dis. Child. 49, 895-897
(1974)
- (62) STREHLOW, C.D. The use of deciduous teeth as in-
dicators of lead exposure
J. Dent. Res. 53, 1078 (1974)
- (63) STREHLOW, C.D. The distribution of lead and zinc
KNEIP, T.J. in the human skeleton
Amer. Ind. Hyg. Ass. J. 30,
372-378 (1969)
- (64) TILL, T. Bericht über Spurenanalysen an
SCHUBERT, K. menschlichen Zähnen
ZWR, 86, 66-68 (1977)
- (65) TIMM, F. Histochemischer Nachweis des nor-
malen Bleis im menschlichen Hart-
gewebe
Virch. Arch. path. Anat. 297,
502-507 (1936)
- (66) UMWELTBUNDESAMT Luftqualitätskriterien für Blei
Berichte 3/76
- (67) WEINIG, E. Über den normalen Bleigehalt der
BÖRNER, B. menschlichen Knochen
Arch. Tox. 19, 34-48 (1961)
- (68) WESTERMAN, M.P. Concentrations of lead in bone
PFITZER, E. in plumbism
ELLIS, L.D. New Engl. J. Med. 273, 1246-1250
JENSEN, W.N. (1965)

- (69) WILKINSON, D.R. Lead in teeth as a function of age
PALMER, W. International Laboratory 1975
May/June s. 41-43
Connecticut, USA
zitiert bei TILL und Mitarb. (1977)
- (70) ZENTAY N. Histochemische Lokalisation des
Bleis in Zähnen und Unterkiefern
von jungen und erwachsenen Ratten
Med. Diss. Göttingen (1968)

LEBENS LAUF

Am 16. Februar 1952 wurde ich als zweites Kind des Oberamtsrates Hans EMSLANDER und seiner Ehefrau Marie-Luise, geb. FOERSTL, in Landshut/ Bay. geboren.

Nach der Volksschule besuchte ich in Landshut das Hans-Leinberger-Gymnasium, wo ich im Juni 1968 die Reifeprüfung ablegte. Im Wintersemester 1972/73 immatrikulierte ich mich an der Universität München für das Studium der Zahnheilkunde und bestand im März 1978 die zahnärztliche Prüfung.

Seit dem 16. März 1978 bin ich in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie (Direktor: Prof. Dr. E. SONNABEND) der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität München tätig.

München, im Oktober 1978

